昆 虫 学 报 *Acta Entomologica Sinica*, April 2011, 54(4): 425 -431 ISSN 0454-6296

寄主植物接种番茄斑萎病毒对西花蓟马种群的影响

朱秀娟[1,2], 张治军[2], 吕要斌[1,2,*]

(1. 杭州师范大学生命与环境科学学院, 杭州 310018; 2. 浙江省农业科学院植物保护与微生物研究所,
浙江省植物有害生物防控重点实验室——省部共建国家重点实验室培育基地, 杭州 310021)

摘要:【目的】西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* (Pergande)是一种入侵我国的重要害虫, 而番茄斑萎病毒是以西花蓟马传播为主的一种极具危害性的世界性病毒, 通过研究西花蓟马与番茄斑萎病毒之间的互作将有助于进一步深入理解西花蓟马以及番茄斑萎病毒的发生与猖獗机制, 同时也将为制定合理、可持续的控制西花蓟马及其传播的植物病毒防控策略提供理论依据。【方法】利用应用特定年龄-龄期及两性生命表方法, 研究了西花蓟马在辣椒3种处理(健康 CK、机械损伤 MD、机械接种番茄斑萎病毒 MI)叶片上的生长发育、存活及种群增长。【结果】健康、机械损伤和机械接毒叶片上的发育历期依次为 12.45, 11.97 和 11.18 d。雌雄成虫寿命和雌虫产卵量在不同处理植株叶片上差异显著($P<0.05$), 在机械接毒叶片上寿命最长(雌 13.51 d, 雄 12.69 d); 繁殖能力最强, 产子代数高达 33.01 头 1 龄若虫/雌。健康、机械损伤和机械接毒叶片上西花蓟马内禀增长率分别为 -0.009, 0.153 和 0.190 d^{-1}, 净生殖率依次为 0.84, 14.54 和 21.79。【结论】番茄斑萎病毒诱导寄主植物辣椒反应使西花蓟马发育历期缩短, 成虫寿命延长, 繁殖能力提高, 种群增长加速。

关键词: 西花蓟马; 寄主植物; 番茄斑萎病毒; 接毒; 种群增长; 发育历期; 繁殖力; 成虫寿命

中图分类号: Q965 **文献标识码:** A **文章编号:** 0454-6296(2011)04-0425-07

Effects of inoculation of host plants with tomato spotted wilt virus on populations of the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae)

ZHU Xiu-Juan[1,2], ZHANG Zhi-Jun[2], LU Yao-Bin[1,2,*] (1. College of Life and Environmental Sciences, Hangzhou Normal University, Hangzhou 310018, China; 2. State Key Laboratory Breeding Base for Zhejiang Sustainable Pest and Disease Control, Institute of Plant Protection and Microbiology, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China)

Abstract:【Aim】The western flower thrips (WFT), *Frankliniella occidentalis* (Pergande), is an invasive pest in China, while tomato spotted wilt virus (TSWV), which is mainly transmitted by WFT, is a very serious virus around the world. Through the study of the interactions between WFT and TSWV, the mechanism of the outbreak of both WFT and TSWV can be further understood. Furthermore, it will provide a theoretical basis for developing reasonable and sustainable control strategies of WFT and TSWV.【Methods】Age-stage and two-sex life tables were used to study the effects of the mature excised foliages of three treated peppers (healthy, CK; mechanically damaged, MD; mechanically inoculated by TSWV, MI) on biological characteristics of WFT.【Results】The results showed that the developmental periods of preadult thrips were 12.45, 11.97 and 11.18 d on CK, MD and MI foliages, respectively. There were significant differences in adult longevity and female fecundity between different treatments ($P<0.05$). On MI-leaves, the adult longevity was the longest (female: 13.51 d; male: 12.69 d), and the total number of 1st instar nymphae produced was the highest, up to 33.01 1st instar nymphae per female. The intrinsic rate of increase (r_m) on CK, MD and MI were -0.009, 0.153, 0.190 d^{-1}, and the net reproduction rate (R_0) were 0.84, 14.54, and 21.79, respectively.【Conclusion】The results suggest that infection of host plants with TSWV may benefit WFT through shortening developmental time, prolonging adult longevity, increasing fecundity, and accelerating the population growth of WFT.

基金项目: 国家公益性行业科研专项(200803025, 201103026)

作者简介: 朱秀娟, 女, 1986 年 9 月生, 江苏宿迁人, 硕士研究生, 主要从事生理生态学研究工作, E-mail: skily.927@163.com

*通讯作者 Corresponding author, E-mail: luybcn@163.com

收稿日期 Received: 2010-11-22; 接受日期 Accepted: 2011-02-22

Key words: Western flower thrips (*Frankliniella occidentalis*); host plant; tomato spotted wilt virus (TSWV); virus inoculation; population growth; developmental duration; fecundity; adult longevity

西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* (Pergande) 属缨翅目(Thysanoptera),蓟马科(Thripidae),花蓟马属 *Frankliniella*。西花蓟马食性杂、寄主范围广、繁殖力强(Pergande, 1895; Loomans and van Lenteren, 1995; Moritz, 2002; Kirk and Terry, 2003;吕要斌等,2004;Zhang *et al*., 2007),不仅直接锉食农作物茎、叶、花和果实等器官,导致减产和产品商品价值降低,而且传播番茄斑萎病毒(tomato spotted wilt virus, TSWV)和凤仙花坏死斑点病毒(impatiens necrotic spot virus, INSV)等多种番茄斑萎病毒属 *Tospovirus* 病毒,是番茄斑萎病毒最有效的传播媒介(Wijkamp *et al*., 1995),通过传播植物病毒对农作物的危害远远超过其直接取食造成危害(Mound, 2001)。

媒介昆虫与其传播的植物病毒存在复杂的相互作用关系(Whitfield *et al*., 2005)。如寄主植物发病可以改变媒介昆虫的趋性行为和生物学特性(Maris *et al*., 2004; Belliure *et al*., 2005)。已有研究表明,番茄斑萎病毒的寄主植物发病后,西花蓟马发育历期缩短,未成熟期的存活率和雌虫的繁殖能力提高(Sakimura, 1963; Robb, 1989; Wijkamp *et al*., 1996; Maris *et al*., 2004; Belliure *et al*., 2005),但对西花蓟马的影响因病毒分离物和温度等实验条件的不同而异(Stumpf and Kennedy, 2005, 2007)。而对番茄斑萎病毒是否可以影响西花蓟马的种群增长动态,尚无系统报道。为此,本研究以我国常见蔬菜作物辣椒为寄主植物,以采自我国云南的番茄斑萎病毒作为病毒源,系统研究了番茄斑萎病毒对西花蓟马发育历期、存活、成虫寿命、雌虫产卵和种群增长动态参数等生物学指标的影响,为明确西花蓟马在我国的生物学特性、探讨西花蓟马的有效防控措施等提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 供试材料

1.1.1 西花蓟马:2007 年采自北京,用四季豆 *Phaseolus vulgaris* L. 饲养于养虫室内,饲养条件为:温度 27 ± 1℃,相对湿度 75% ± 5%,光照周期 L∶D = 16∶8。

1.1.2 病毒:从云南田间采回发病症状明显的辣椒果实,经 ELISA 检测确定为番茄斑萎病毒后,一部分用锡箔纸包好置于 -70℃ 冰箱中保存,一部分通过摩擦接种于烟草枯斑寄主(三生烟) *Nicotiana tabacum* var. *samsun* NN 分离病原,挑取单个枯斑转接到黄花烟 *Nicotianal rustica* L. 上扩繁病毒,然后再转接到试验植株辣椒上。

1.1.3 寄主植物:辣椒 *Capsicum annuum* L. 品种为杭丰二号组合,购于杭州市江干区杭丰蔬菜良种研究所;将种子播种于温室(温度 27 ± 1℃,相对湿度 75% ± 5%,光照周期 L∶D = 12∶12),温室保持无害虫危害状态,待 2 ~ 3 片真叶时(约 2 周)供试。

1.2 实验处理设置

实验设机械接毒植株(MI)、机械损伤植株(MD)和健康植株(CK)共 3 个处理,每处理重复若干次。其中机械接毒采用人工摩擦接种番茄斑萎病毒,首先选取全株染毒症状明显的黄花烟植株,称取带毒叶片 1 g,并用 10 mL 接种缓冲液(0.01 mol/L $NaPO_4$, pH 7.0)碾磨叶片制成接种液;然后取供试辣椒植株,在顶端 3 片真叶上撒上金刚砂粉末(500 目),用棉签沾取接种液沿着叶脉轻轻摩擦叶片,约 10 min 后用清水冲洗摩擦过的叶片;接种 3 ~ 4 周后若植株出现明显发病症状:萎黄色轮纹,萎黄色镶嵌,叶片出现色斑,生长受阻,畸形,并经 ELISA 检测确认发病,即为机械接毒植株。机械损伤植株按上述方法进行摩擦处理,但不沾取接种液,经确认不带番茄斑萎病毒的植株作为机械损伤植株。健康植株不进行任何处理。

实验在光照培养箱(温度 27 ± 1℃,相对湿度 75% ± 5%,光照周期 L∶D = 16∶8)中进行。

1.3 对西花蓟马生长发育和存活的影响

取健康、机械接毒和机械损伤 3 个处理的辣椒成熟叶 5 ~ 8 片,分别置于不带毒的西花蓟马实验室饲养种群中,产卵 8 h 后将叶片取出,分别置于含有湿润滤纸的大培养皿(直径 9.0 cm)中,3 d 后卵孵化时分别挑取初孵 1 龄若虫 100 头,单独饲养于含湿润滤纸的小培养皿(直径 3.5 cm)中,并分别用相应处理的辣椒叶片(约 1.5 cm^2)进行饲养,用帕拉膜封住培养皿口。每 24 h 更换 1 次新鲜叶片,并观察记录各虫态数量和存活情况,直至羽化为成虫。

1.4　对西花蓟马成虫繁殖和存活的影响

分别取上述各处理刚刚羽化的成虫，雌雄单独配对于玻璃管(直径 3.0 cm × 高 4. 0 cm)中，以相应处理的辣椒叶片作为食物，帕拉膜封口。每 24 h 更换 1 次新鲜叶片，并观察记录成虫存活情况，直到成虫全部死亡。

将每次更换出的叶片分别置于有湿润的滤纸的小培养皿(直径 3.5 cm)中，帕拉膜封口。5 d 后卵全部孵化，记录孵出的若虫数，用孵化出的 1 龄若虫数表示雌虫的繁殖能力(Watts, 1934)。

1.5　数据统计与分析

应用特定年龄-龄期及两性生命表分析软件(Age-stage, two-sex life table analysis)(Chi and Liu, 1985; Chi, 1988)计算分析各处理西花蓟马的生长发育历期、产卵前期、总产卵前期、繁殖能力、特征年龄存活率和特征年龄繁殖率，并用 DPS 数据分析软件(唐启义和冯明光, 2006)对发育历期、产卵前期、总产卵前期和繁殖能力进行方差分析(Turkey 检验，$P < 0.05$)；使用 Jackknife 方法(Sokal and Rohlf, 1995)计算净生殖率 R_0、总生殖率 GRR、内禀增长率 r_m、周限增长率 λ 和平均世代历期 T 等种群消长动态参数的平均值和标准误，并对种群动态参数进行方差分析(Turkey 检验，$P < 0.05$)。

2　结果与分析

2.1　辣椒叶片接种番茄斑萎病毒对西花蓟马生长发育和存活的影响

西花蓟马在健康、机械损伤与机械接毒 3 种处理辣椒叶片上的发育历期明显不同(表 1)。其中 1 龄若虫期、2 龄若虫期均在机械接毒植株叶片上发育最快，分别为 2.10 d 和 2.90 d。同时在 3 种处理叶片上，西花蓟马的卵期没有差异，均为 3 d；预蛹期在 3 种处理辣椒叶片上差异不显著($P = 0.045$)，约为 1.01 d。总之，从卵到成虫羽化前的未成熟期历期，在机械接毒叶片上最短，仅为健康叶片上的 90%。

西花蓟马从卵发育到成虫的存活率曲线如图 1，在健康叶片上的存活率最低，仅 77%，而在机械接毒叶片上西花蓟马的存活率最高，达 97%。

结果说明，在这 3 种处理中，接种番茄斑萎病毒的辣椒叶片可以促进西花蓟马的发育，缩短其发育历期，提高其存活率。

表 1　西花蓟马在不同处理叶片上不同虫态的发育历期

Table 1　Developmental duration of different stages of *Frankliniella occidentalis* on different treated leaves

处理 Treatment	发育历期 Developmental duration (d)					
	卵 Egg	1 龄若虫 1st instar nymph	2 龄若虫 2nd instar nymph	预蛹 Prepupa	蛹 Pupa	未成熟 Preadult
CK	3	2.87 ± 0.06 a	3.42 ± 0.13 a	1.03 ± 0.03 a	2.18 ± 0.04 ab	12.45 ± 0.16 a
MI	3	2.10 ± 0.03 c	2.90 ± 0.07 b	0.92 ± 0.05 a	2.27 ± 0.05 a	11.18 ± 0.07 c
MD	3	2.28 ± 0.05 b	3.50 ± 0.10 a	1.08 ± 0.05 a	2.12 ± 0.04 b	11.97 ± 0.11 b
F	–	65.89	12.09	3.15	3.13	31.93
d.f.	–	2,289	2,269	2,267	2,263	2,263
P	–	0	0	0.045	0.045	0

CK：健康对照 Healthy control；MI 机械接毒 Mechanically inoculated by TSWV；MD：机械损伤 Mechanically damaged. 同一列中平均值后不同的小写字母表示相互之间差异显著(Turkey 检验，$P < 0.05$) Mean values within the same column followed by different small letters are significantly different (Turkey test, $P < 0.05$). 下同 The same below.

2.2　辣椒叶片接种番茄斑萎病毒对西花蓟马成虫寿命的影响

西花蓟马雌雄成虫在 3 种不同处理辣椒叶片上的寿命明显不同(雌成虫：$F = 18.75$, $d.f. = 2, 170$, $P < 0.05$；雄成虫：$F = 63.26$, $d.f. = 2, 89$, $P < 0.05$)(表 2)。从若虫到成虫用健康叶片饲养的西花蓟马雌成虫寿命最短(8.45 ± 0.65 d)，仅为机械接毒叶片上(13.51 ± 0.52 d)的 62.5%。在机械接毒叶片上西花蓟马雄成虫的寿命(12.69 ± 0.90 d)最长，是健康叶片上(4.18 ± 0.22 d)的 3 倍。机械接毒叶片上西花蓟马雌成虫和雄成虫的寿命最长，这表明取食接种番茄斑萎病毒的叶片可延长蓟马成虫的寿命。

表 2 不同处理叶片上西花蓟马的成虫寿命及雌虫繁殖力

Table 2 Adult longevity and female fecundity of *Frankliniella occidentalis* on different treated leaves

处理 Treatment	产卵前期(d) Pre-oviposition period	总产卵前期(d) Total pre-oviposition period	繁殖能力(1 龄若虫数/雌) Fecundity (number of 1st instar nymphae/female)	成虫寿命 Adult longevity (d)	
				雌成虫 Female adult	雄成虫 Male adult
CK	2.75 ±0.49 a	14.60 ±0.75 a	2.71 ±0.58 c	8.45 ±0.65 c	4.18 ±0.22 c
MI	1.12 ±0.17 b	9.98 ±0.63 b	33.01 ±2.24 a	13.51 ±0.52 a	12.69 ±0.90 a
MD	1.56 ±0.11 b	12.87 ±0.38 a	19.65 ±1.41 b	11.07 ±0.43 b	9.56 ±0.78 b
F	11.41	13.42	50.58	18.75	63.26
d.f.	2, 153	2, 153	2, 170	2, 170	2, 89
P	0	0	0	0	0

2.3 辣椒叶片接种番茄斑萎病毒对西花蓟马成虫产卵的影响

在 3 种处理叶片上西花蓟马的特征年龄繁殖能力 *Mx* 的分布趋势基本一致(图 1)。本研究中雌成虫的产卵前期(pre-oviposition period, POP)与总产卵前期(total pre-oviposition period, TPOP)在不同处理叶片上差异显著(表 2),产卵前期与总产卵前期均是在机械接毒叶片上最短,健康叶片上最长。西花蓟马在 3 种处理叶片上的产卵量表现出明显的差异,在机械接毒叶片上的繁殖能力显著高于健康叶片和机械损伤叶片上的,总产子代数最高在机械接毒叶片上,为 33.01 ±2.24 头 1 龄若虫/雌,为健康叶片的 12.18 倍。

2.4 辣椒叶片接种番茄斑萎病毒对西花蓟马种群动态参数的影响

不同处理叶片对西花蓟马种群增长的影响差异显著(表 3)。在健康、机械损伤和机械接毒叶片上西花蓟马内禀增长率(r_m)差异显著,依次为 −0.009, 0.196 和 0.153 d^{-1},机械接毒叶片上的最大,种群增长能力最强,机械损伤叶片上的次之,健康叶片上的内禀增长率呈负值,种群表现出负增长;周限增长率差异亦显著,分别为 0.991, 1.210和 1.165 d^{-1},机械接毒叶片上最大。每一个世代种群净增值(R_0)21.79 ~0.84 倍,差异显著;总生殖率差异显著,机械接毒叶片上最大(28.49 ±3.20),健康叶片上总生殖率最小仅 1.79。总之,在机械接毒叶片上,西花蓟马的种群增长能力最强,繁殖能力最大。

3 讨论

传统的特定年龄生命表(Lewis, 1942; Leslie, 1945; Birch, 1948),只涉及雌性种群,忽略了个体间龄期差异和种群中的雄性个体,而在生命表分析时忽略个体间的龄期差异和性别差异会产生错误(Chi, 1988; Chi and Yang, 2003)。当仅用雌性特定年龄生命表分析两性种群时,总生殖率和净生殖率与未成熟期存活之间(Yu *et al.*, 2005),以及净生殖率与雌虫平均繁殖力之间存在错误关系(Chi and Su, 2006)。Chi 和 Liu (1985)建立了一种年龄-龄期两性生命表制作方法,该生命表制作方法考虑了雄性种群与个体之间的发育历期差异,并且 Chi (1988)对两性生命表的数据分析进行了详细描述并开发成计算机软件(Chi, 2006)。本文采用年龄-龄期两性生命表分析软件(Chi, 2006)分析番茄斑萎病毒对西花蓟马生长发育、存活率、繁殖及种群动态等生物学特性的影响,以期更全面地反映接种番茄斑萎病毒植株对西花蓟马种群动态的影响。

van Lenteren 和 Noldus (1990)认为,昆虫在某种寄主植物上发育历期短、繁殖能力强说明该寄主植物对此昆虫具有更好的适宜性。本研究表明,西花蓟马在辣椒 3 种不同处理叶片上的生长发育和种群增长等生物学特性差异显著。机械接毒叶片上西花蓟马的发育历期显著短于健康叶片和机械损伤叶片上的,主要是缩短了 1、2 龄若虫期,这表明与健康叶片相比,机械接毒叶片是西花蓟马更适宜的寄主。这与 Bautista 等(1995)和 Maris 等(2004)研究结果一致。昆虫生物学特性的评价指标除了包括比较昆虫在不同植物上的生长发育、寿命、取食和产卵能力等(Brown *et al.*, 2002),还包括内禀生长率 r_m 和净生殖率 R_0 等昆虫种群动态参数(Ricbard, 1961; Morris and Fulton, 1970; Varley and Gradwell, 1970; Tsai and Wang, 2001),尤其是种群内禀增长率综合考虑了种群的出生率和死亡率、种群的年龄

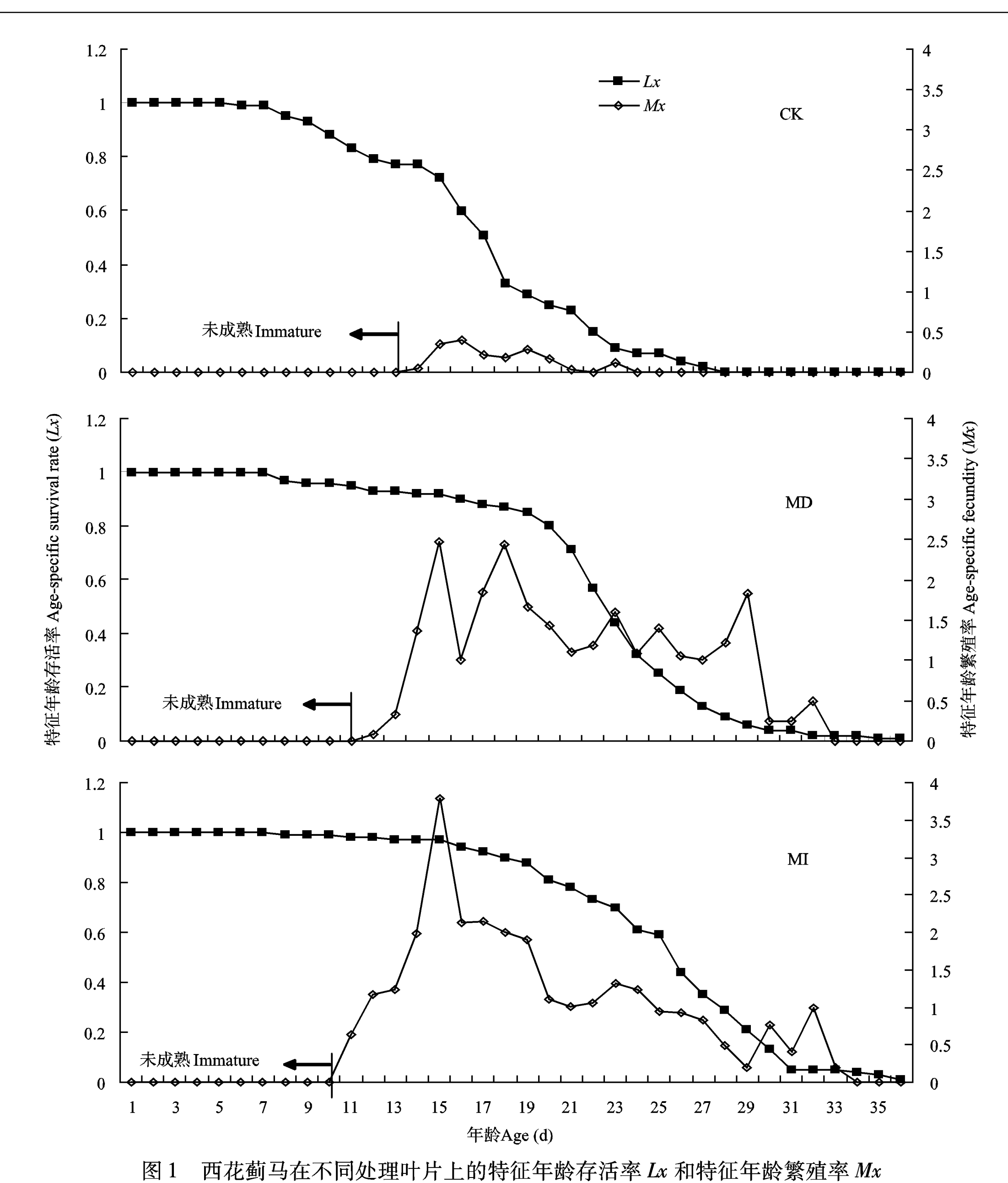


图 1 西花蓟马在不同处理叶片上的特征年龄存活率 *Lx* 和特征年龄繁殖率 *Mx*

Fig. 1 Age-specific survival rate (*Lx*) and fecundity (*Mx*) of *Frankliniella occidentalis* on different treated leaves

表 3 西花蓟马在不同处理叶片上的种群参数

Table 3 Population parameters of *Frankliniella occidentalis* on different treated leaves

处理 Treatment	内禀增长率 Intrinsic rate of increase (r_m)	周限增长率 Finite rate of increase (λ)	净生殖率 Net reproduction rate (R_0)	平均世代历期 Mean generation time (T)	总生殖率 Gross reproduction rate (GRR)
CK	−0.009 ±0.016 c	0.991 ±0.016 c	0.84 ±0.22 c	16.46 ±0.37 b	1.79 ±0.36 b
MI	0.190 ±0.006 a	1.210 ±0.008 a	21.79 ±2.11 a	16.21 ±0.29 b	28.49 ±3.20 a
MD	0.153 ±0.005 b	1.165 ±0.006 b	14.54 ±1.36 b	17.54 ±0.27 a	25.09 ±3.73 a
F	102.06	114.11	53.69	5.00	26.10
d.f.	2,297	2,297	2,297	2,297	2,297
P	0	0	0	0.007	0

组配、繁殖力及发育速度等诸多因素，因此能敏感地反映出各种因素对种群的综合影响。本文研究结果表明接种番茄斑萎病毒植株叶片可以显著提高西花蓟马的繁殖能力，西花蓟马在机械接毒叶片上内禀增长率、周限增长率、净生殖率和总生殖率等种群增长动态参数显著高于其他处理植株叶片上的相关参数(表3)，表明机械接毒叶片加速西花蓟马的种群增长。此外番茄斑萎病毒发病植株对西花蓟马具有明显的吸引作用(Bautista *et al.*, 1995; 朱秀娟等，另文发表)。

综合以上分析，我们认为西花蓟马与番茄斑萎病毒之间存在互惠关系，一方面感染番茄斑萎病毒植株对西花蓟马的吸引作用导致蓟马带毒机率增高，进而增加番茄斑萎病毒传播的可能性；另一方面番茄斑萎病毒发病植株更适合西花蓟马取食、产卵和发育，甚至促进西花蓟马种群增长，从而提高西花蓟马种群数量。然而番茄斑萎病毒发病植株有利于西花蓟马生长发育，甚至加速西花蓟马种群增长的寄主植物营养学机制有待进一步研究。依据Belliure 等(2005)的研究结果，西花蓟马-番茄斑萎病毒-寄主植物之间的互作方式可能为间接互作，即番茄斑萎病毒并不是直接影响西花蓟马的生长发育及寄主选择行为，而可能是通过影响寄主植物的生理代谢，使寄主植物产生可以影响西花蓟马生长发育及寄主选择行为的次生代谢物质。另外，Whitfield 等(2005)认为蓟马和番茄斑萎病毒属病毒的协同进化会导致番茄斑萎病毒属病毒的变异，同种病毒不同分离物的致病性与流行规律不同。因此客观、全面地理解西花蓟马与番茄斑萎病毒之间相互作用关系，不仅有助于进一步深入理解西花蓟马以及番茄斑萎病毒的发生与猖獗机制，同时也将为制定合理、可持续的控制西花蓟马及其传播的植物病毒防控策略提供理论依据。

参考文献(References)

Bautista RC, Mau RFL, Cho JJ, Custer DM, 1995. Potential of tomato spotted wilt tospovirus plant hosts in Hawaii as virus reservoirs for transmission by *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). *Phytopathology*, 85: 953 - 958.

Belliure B, Janssen A, Maris PC, Peters D, Sabelis MW, 2005. Herbivore arthropods benefit from vectoring plant viruses. *Ecol. Lett.*, 8: 70 - 79.

Birch LC, 1948. The intrinsic rate of natural increase of an insect population. *J. Anim. Ecol.*, 17: 15 - 26.

Brown AS, Simmonds MS, Blaney WM, 2002. Relationship between nutritional composition of plant species and infestation levels of thrips. *J. Chem. Ecol.*, 28: 2399 - 2409.

Chi H, 1988. Life table analysis incorporating both sexes and variable development rates among individuals. *Environ. Entomol.*, 17(1): 26 - 34.

Chi H, 2006. Timing-Mschart: a computer program for the population projection based on age-stage two-sex life table. http://140.120.197.173/Ecology/Download/Timing-MS Chart.zip.

Chi H, Liu H, 1985. Two new methods for the study of insect population ecology. *Acad. Sin., Bull. Inst. Zool.*, 24: 225 - 240.

Chi H, Su HY, 2006. Age-stage, two-sex life tables of *Aphidius gifuensis* (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae) and its host *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae) with mathematical proof of the relationship between female fecundity and the net reproductive rate. *Environ. Entomol.*, 35: 10 - 21.

Chi H, Yang TC, 2003. Two-sex life table and predation rate of *Propylaea japonica* Thunberg (Coleoptera: Coccinellidae) fed on *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae). *Environ. Entomol.*, 32: 327 - 333.

Kirk WDJ, Terry LI, 2003. The spread of the western flower thrips *Frankliniella occidentalis* (Pergande). *Agricultural and Forest Entomology*, 5: 301 - 310.

Leslie PH, 1945. On the use of matrices in certain population mathematics. *Biometrika*, 33: 183 - 212.

Lewis EG, 1942. On the generation and growth of a population. *Sankhya*, 6: 93 - 96.

Loomans AJM, van Lenteren JC, 1995. Biological control of thrips pests: a review on thrips parasitoids. In: Loomans AJM, van Lenteren JC, Tommasini MG, Maini S, Riudavets J eds. Biological Control of Thrips Pests. Wageningen Agricultural University Papers, printed by Veenman Drukkers, Wageningen, the Netherlands. 88 - 201.

Lu YB, Bei YW, Lin WC, Zhang JM, 2004. The biology, host and damage of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande). *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 16(5): 317 - 320. [吕要斌，贝亚维，林文彩，章金明，2004. 西花蓟马的生物学特性、寄主范围及危害特点. 浙江农业学报，16(5): 317 - 320]

Maris PC, Joosten NN, Goldbach RW, Peters D, 2004. Tomato spotted wilt virus infection improves host suitability for its vector *Frankliniella occidentalis*. *Phytopathology*, 94: 706 - 711.

Moritz G, 2002. The biology of thrips is not the biology of their adults: a developmental view. In: Marullo R, Mound L eds. Thrips and Tospoviruses: Proceedings of the 7th international symposium on Thysanoptera. Australian National Insect Collection (ANIC), Canberra. 259 - 267.

Morris RF, Fulton WC, 1970. Models for the development and survival of *Hyphantrla cunea* in relation to temperature and humidity. *Mem. Entomol. Soc. Can.*, 70: 1 - 60.

Mound LA, 2001. So many thrips - so few tospoviruses? In: Marullo R, Mound L eds. Thrips and Tospoviruses: Proceedings of the 7th International Symposium on Thysanoptera. Australian National Insect Collection (ANIC), Canberra. 15 - 18.

Pergande T, 1895. Oberservations on certain Thripidae. *Insect life*, 7:

390 – 395.

Ricbard OW, 1961. The theoretical and practical study of natural insect populations. *Annu. Rev. Entomol.*, 6: 147 – 162.

Robb KL, 1989. Analysis of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) as a Pest of Floricultural Crops in California Greenhouses. PhD Dissertation, University of California, Riverside, CA, USA.

Sakimura K, 1963. *Frankliniella fusca* an additional vector for the tomato spotted wilt virus with notes on *Thrips tabaci*, another vector. *Phytopathology*, 53: 412 – 415.

Sokal RR, Rohlf FJ, 1995. Biometry: the Principles and Practice of Statistics in Biological Research. 3rd ed. Freeman WH, San Francisco, CA.

Stumpf CF, Kennedy GG, 2005. Effects of tomato spotted wilt virus (TSWV) isolates, host plants, and temperature on survival, size, and development time of *Frankliniella fusca*. *Entomol. Exp. Appl.*, 114: 215 – 225.

Stumpf CF, Kennedy GG, 2007. Effects of tomato spotted wilt virus isolates, host plants, and temperature on survival, size, and development time of *Frankliniella occidentalis*. *Entomol. Exp. Appl.*, 123: 139 – 147.

Tang QY, Feng MG, 2006. DPS Data Processing System – Experimental Design, Statistical Analysis and Data Mining. Science Press, Beijing. 85 – 95. [唐启义, 冯明光, 2006. DPS 数据处理系统—实验设计、统计分析及数据挖掘. 北京: 科学出版社. 85 – 95]

Tsai JH, Wang JJ, 2001. Effects of host plants on biology and life table parameters of *Aphid spiraecola* (Homoptera: Aphididae). *Environ. Entomol.*, 30: 45 – 50.

van Lenteren JC, Noldus LPJJ, 1990. Whitefly-plant relationships: behavioural and ecological aspects. In: Gerling D ed. Whiteflies: Their Bionomics, Pest Status and Management. Intercept Ltd, Andover, UK. 47 – 89.

Varley GC, Gradwell GR, 1970. Recent advance in insect population dynamics. *Annu. Rev. Entomol.*, 15: 1 – 24.

Watts JG, 1934. Comparison of the life cycles of *Frankliniella tritici* (Fitch), *F. fusa* (Hind) and *Thrips tabaci* Lind. (Tysanoptera: Thripidae) in South Carolina. *J. Econ. Entomol.*, 27: 1158 – 1159.

Whitfield AE, Ullman DE, German TL, 2005. Tospovirus-thrips interactions. *Annu. Rev. Phytopathol.*, 43: 459 – 489.

Wijkamp I, Almarza N, Goldbach R, Peters D, 1995. Distinct levels of specificity in thrips transmission of tospoviruses. *Phytopathology*, 85: 1069 – 1074.

Wijkamp I, Goldbach R, Peters D, 1996. Propagation of tomato spotted wilt virus in *Frankliniella occidentalis* does neither result in pathological effects nor in transovarial passage of the virus. *Entomol. Exp. Appl.*, 81: 285 – 292.

Yu JZ, Chi H, Chen BH, 2005. Life table and predation of *Lemnia biplagiata* (Coleoptera: Coccinellidae) fed on *Aphis gossypii* (Homoptera: Aphididae) with a proof on relationship among gross reproduction rate, net reproduction rate and preadult survivorship. *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 98: 475 – 482.

Zhang ZJ, Wu QJ, Li XF, Zhang YJ, Xu BY, Zhu GR, 2007. Life history of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Thysan., Thripae), on five different vegetable leaves. *J. Appl. Entomol.*, 131(5): 347 – 354.

（责任编辑：袁德成）